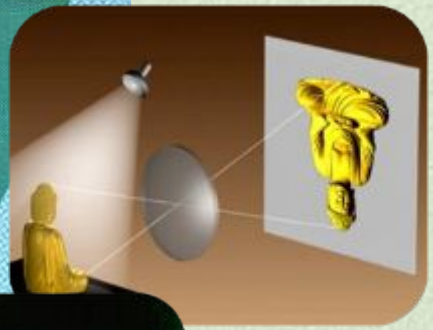
ФИЗИКА

11 КЛАСС

Тема № 8

Дифракция















Автор: Г.Г. Бажина – учитель физики
МБОУ «ГИМНАЗИЯ № 11» г.К

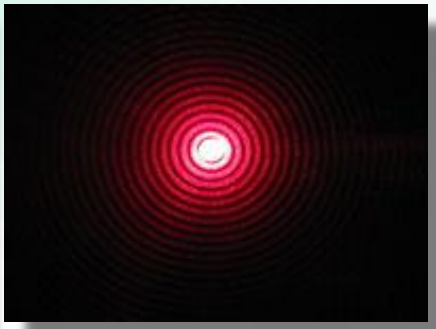
900igr.net

Урок № 74-75 Дифракция света

План урока

1. Дифракция света
2. Дифракция Френеля
3. Дифракция Фраунгофера
4. Дифракционная решетка



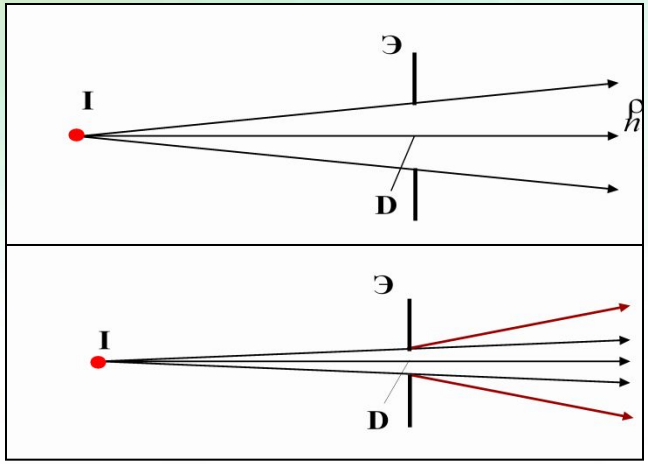


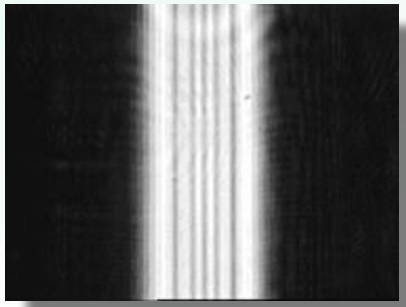
Ключевые слова: дифракция света, дифракционная решетка

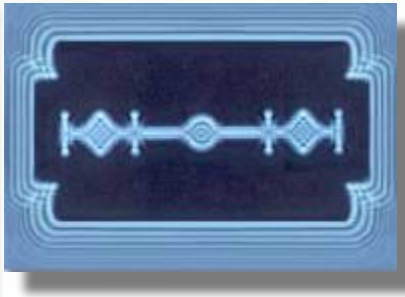
http://aida.ucoz.ru

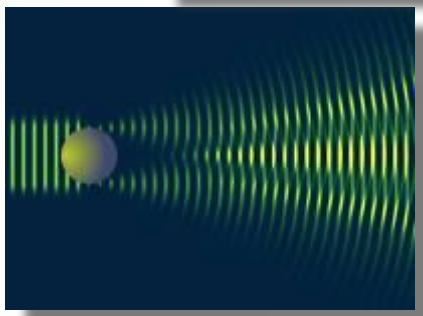
Урок № 74-75 Дифракция света

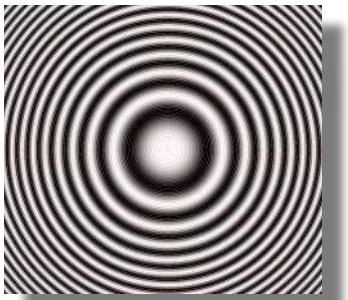
Дифракция света - явление отклонения световых лучей в область геометрической тени при прохождении мимо краев препятствий или сквозь отверстия, размеры которых сравнимы с длиной световой волны









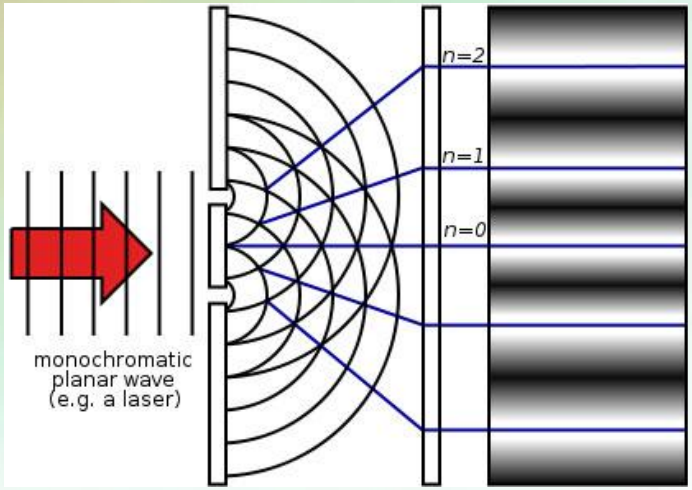


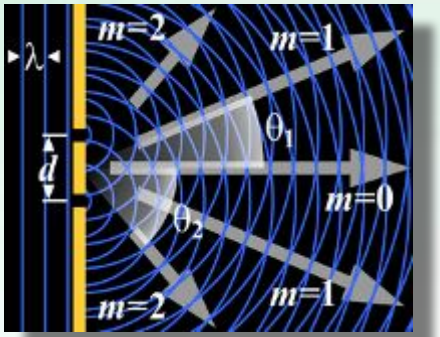


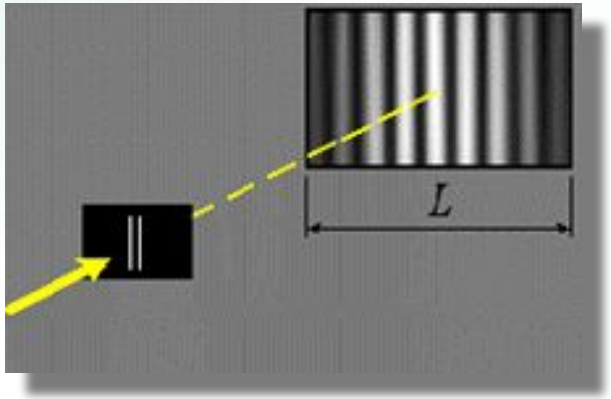
Свет заходит за края препятствия!

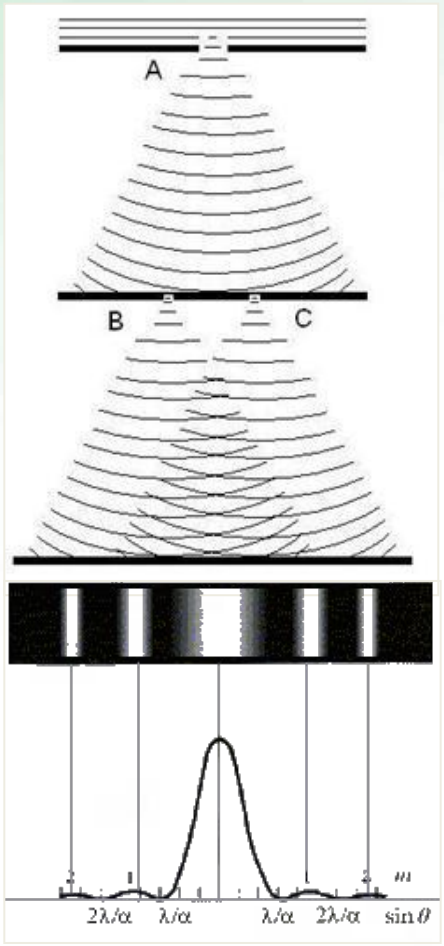
Урок № 74-75 Дифракция света

Опыт Юнга по дифракции







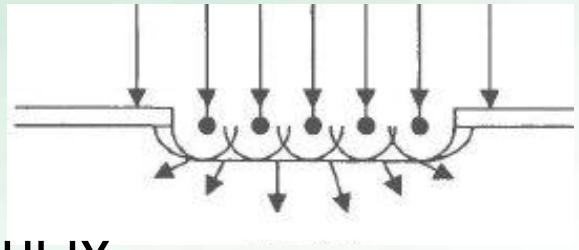


Дифракция проявляется в нарушении прямолинейности распространения света!

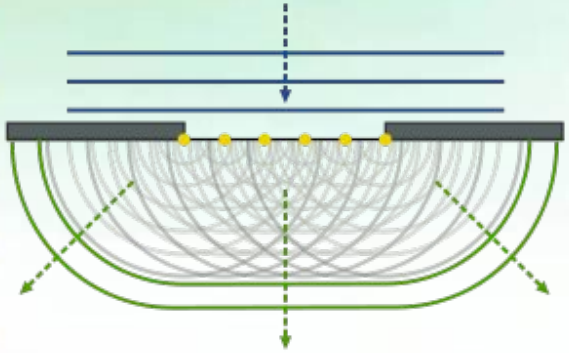
http://aida.ucoz.ru

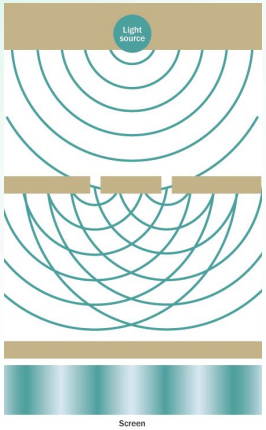
Урок № 74-75 Дифракция света

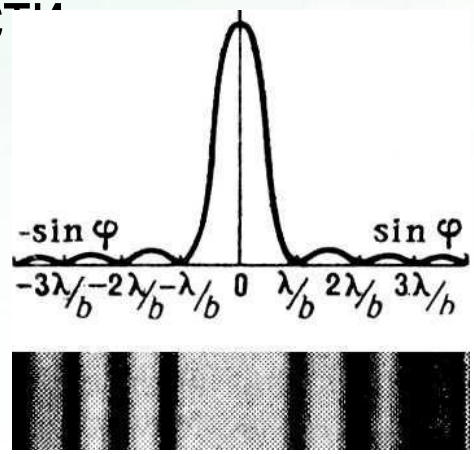
Принцип Гюйгенса- Френеля

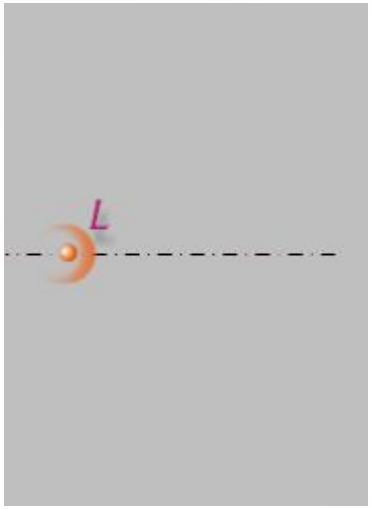


Возмущение в любой точке является **результатом интерференции** элементарных вторичных волн, излучаемых каждым элементом некоторой волновой поверхности.







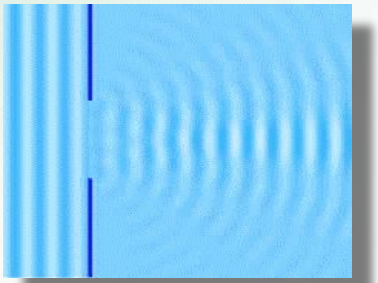


Решить задачу дифракции – значит найти распределение интенсивности света на экране в зависимости от размеров и формы препятствий вызывающих дифракцию

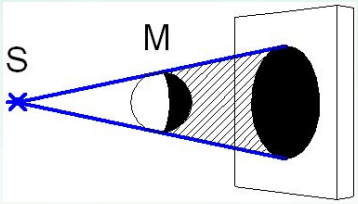
Урок № 74-75 Дифракция света



Виды дифракции



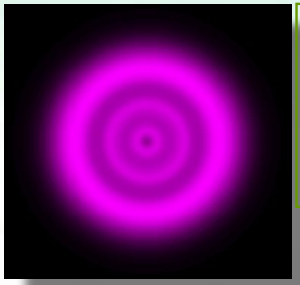
Геометрическая оптика!



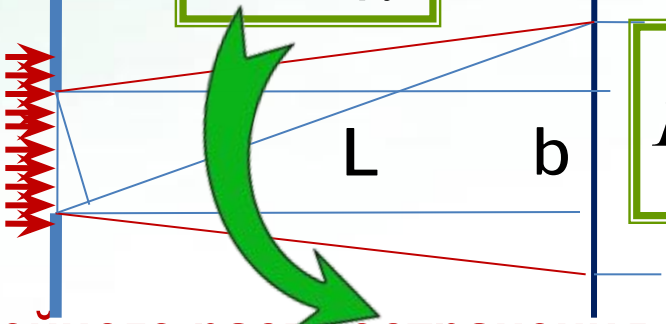
Дифракция Френеля

$$L \ll \frac{b^2}{\lambda}$$

Дифракция Фраунгофера



$$L \gg \frac{b^2}{\lambda}$$

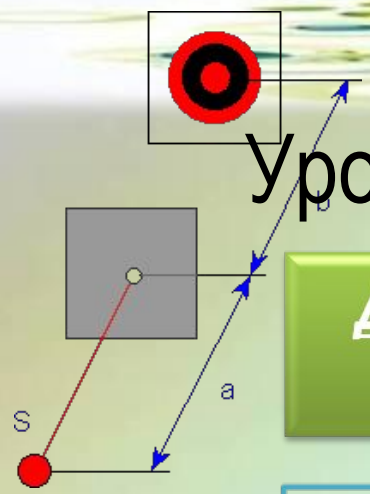


$$L \geq \frac{b^2}{\lambda}$$



Закон прямолинейного распространения света выполняется достаточно точно в том случае, когда размеры щели на пути распространения света много больше длины световой волны!

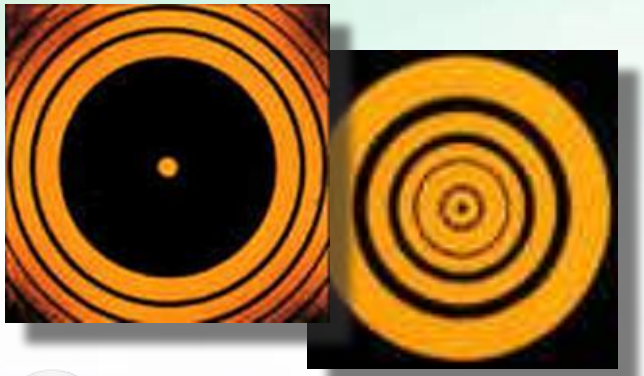
Урок № 74-75 Дифракция света



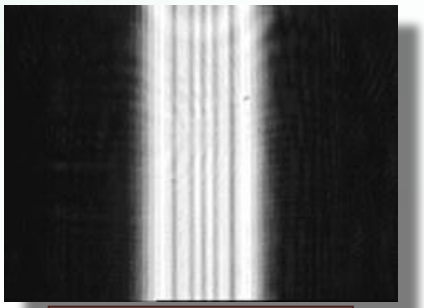


Дифракция Френеля на простых объектах

Дифракция на малом отверстии

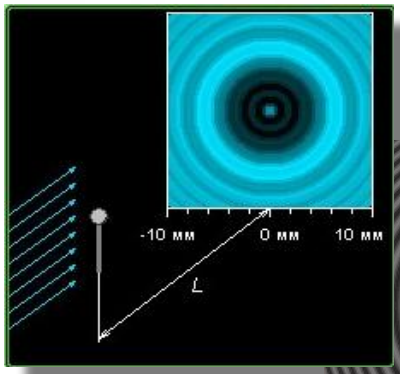


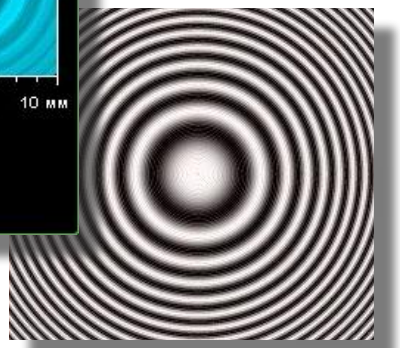
Дифракция на нити



$$b << \lambda$$

Дифракция на круглом экране



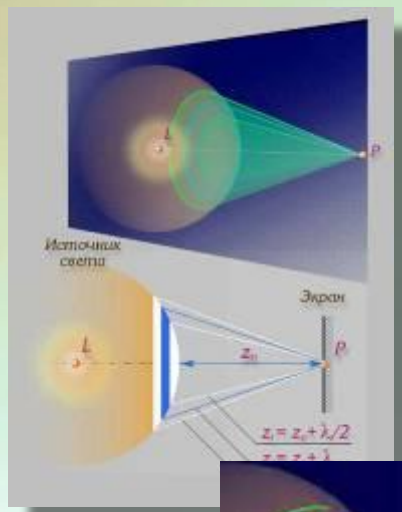


Щель играет роль точечного источника волн!

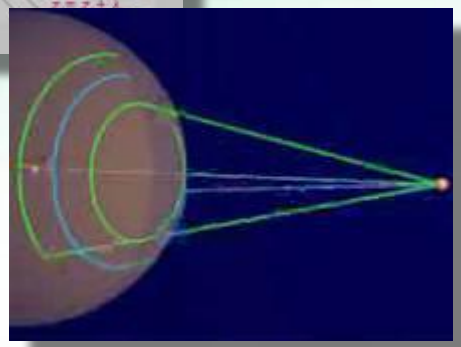
http://aida.ucoz.ru

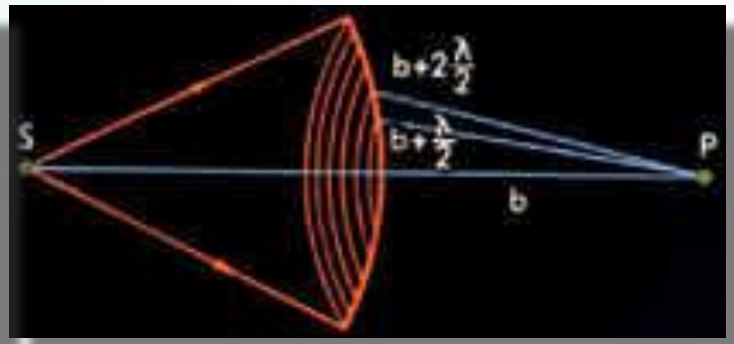
Урок № 74-75 Дифракция света

Метод зон Френеля



Для нахождения **результата интерференции** колебаний от вторичных источников Френель предложил метод разбиения волнового фронта на зоны





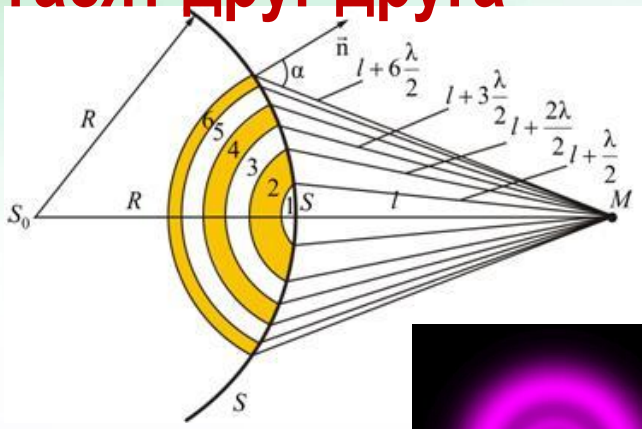


Зоны Френеля – множество когерентных источников вторичных волн, максимальная разность хода между которыми равна $\lambda/2$

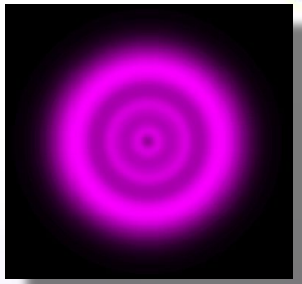
Урок № 74-75 Дифракция света

Теория дифракции

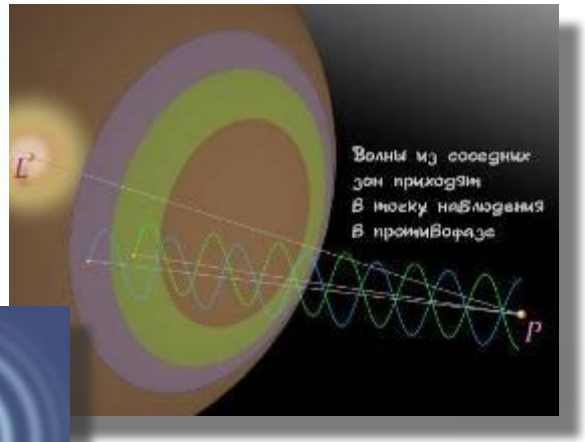
Разность хода от двух соседних зон равна **λ/2**, следовательно, колебания от них приходят в точку наблюдения М в противоположных фазах, так, что **волны от любых двух соседних зон Френеля гасят друг друга**







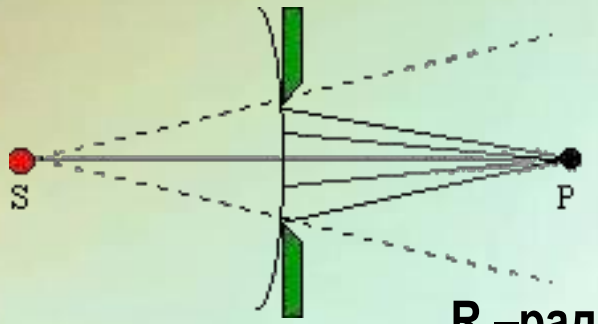




http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

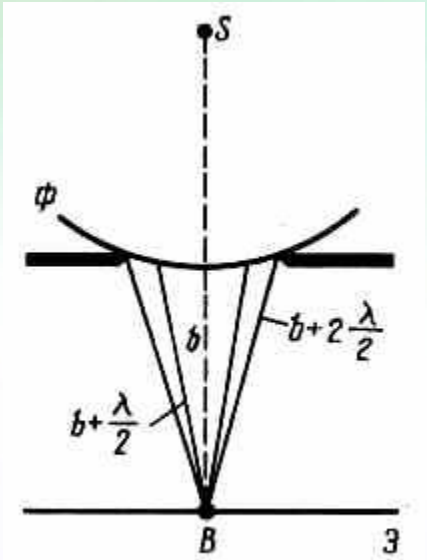
Дифракция на малом отверстии

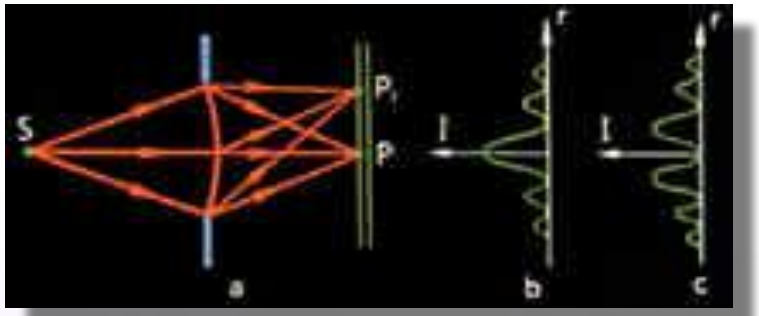


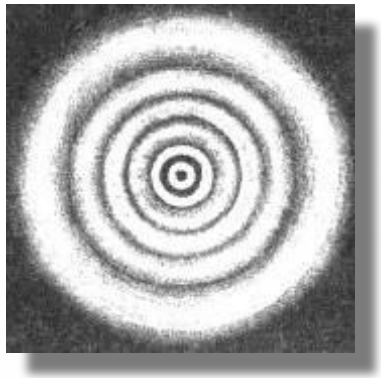
$$m = \frac{R^2}{\lambda}\left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right)$$



R –радиус отверстия
a - расстояние от источника света до экрана с отверстием
b – расстояние от экрана до точки наблюдения
m – число открытых зон Френеля



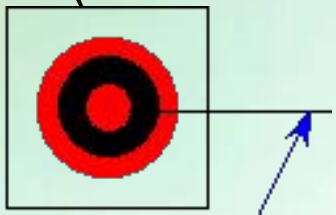




Урок № 74-75 Дифракция света

Условие минимума

Когда на отверстии укладывается **четное число зон**, то в точке наблюдения возникнет минимум (темное пятно)

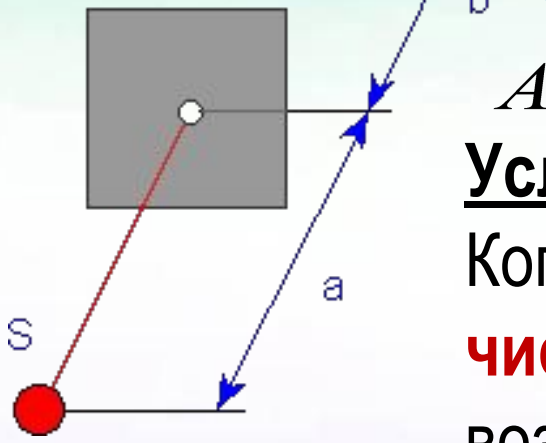


$$A = A_1 - A_2 + A_3 - A_4 \approx 0$$





Дифракция на малом отверстии

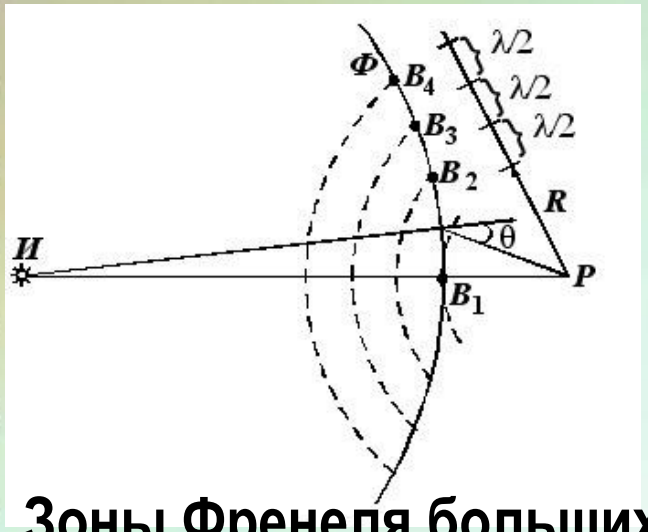


$$A = A_1 - A_2 + A_3 \approx A_1$$

Условие максимума

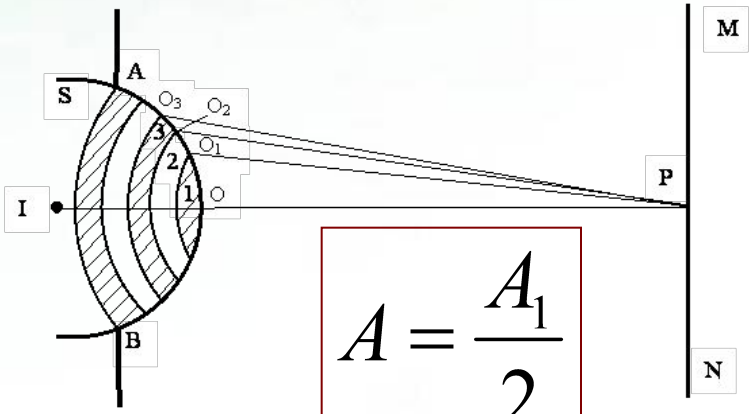
Когда на отверстии укладывается **нечетное число зон**, то в точке наблюдения возникнет максимум (светлое пятно)

Урок № 74-75 Дифракция света



Амплитуда колебаний в точке наблюдения монотонно убывает по мере увеличения угла между нормалью к поверхности и направлением на точку направления

Зоны Френеля больших номеров вносят малый вклад в интенсивность из-за большого угла наклона зон!

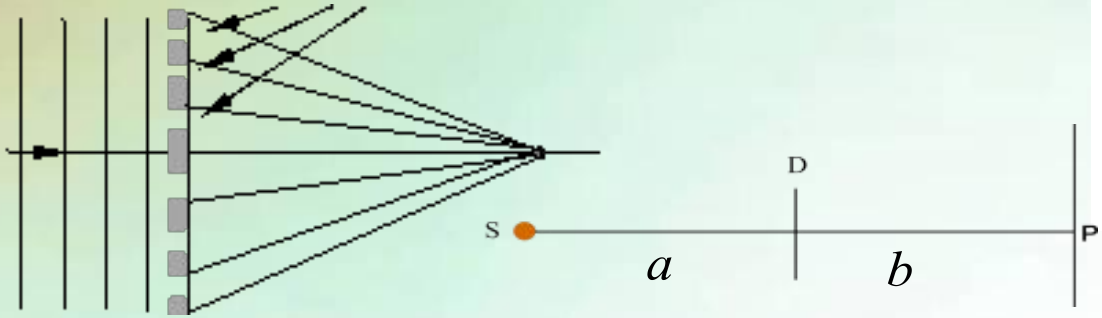


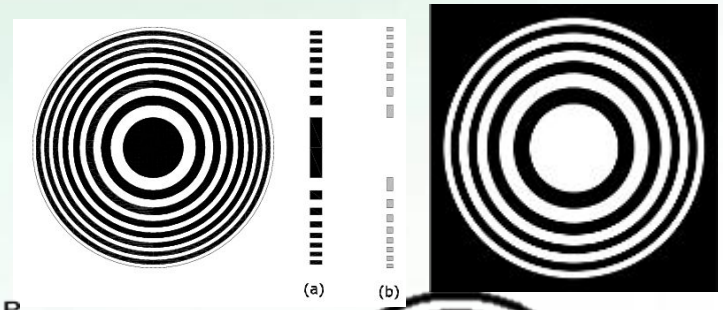
$$A = \frac{A_1}{2}$$

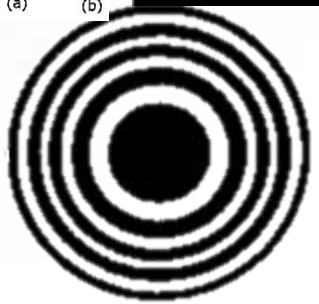
Результирующая амплитуда колебаний в точке наблюдения примерно равна половине амплитуды колебаний, создаваемой центральной зоной Френеля

Урок № 74-75 Дифракция света

Зонная пластинка – это прозрачный экран с чередующимися светлыми и темными кольцами







$$R_m = \sqrt{\frac{ab\lambda m}{a+b}}$$

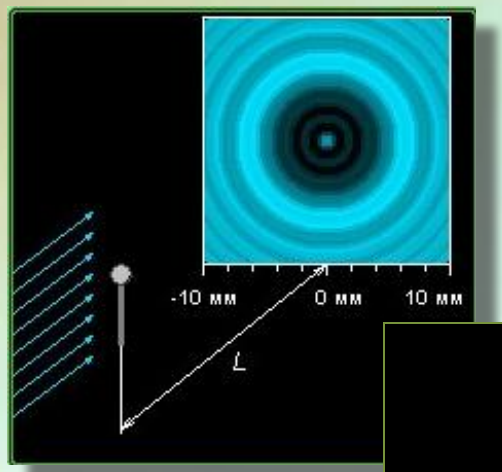
Зонная пластинка фокусирует световые лучи подобно линзе!

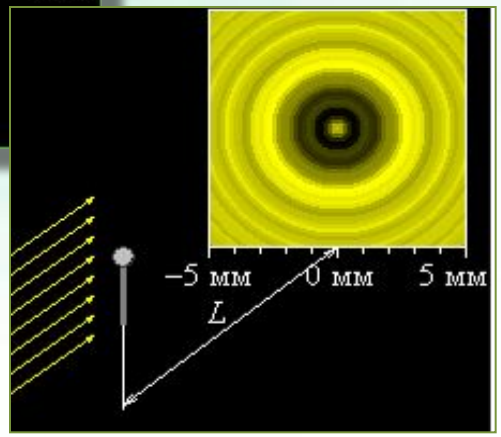
Радиусы колец подбираются так, что при заданных **λ, a и b** кольца из непрозрачного материала закрывают все четные зоны, тогда в точку наблюдения приходят колебания только от нечетных зон, происходящих в одной и той же фазе, что приводит к увеличению интенсивности света в точке наблюдения

http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

Дифракция от круглого диска

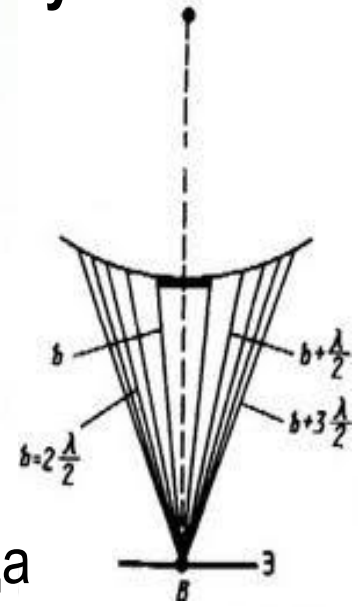






…Светлое пятно может возникнуть даже области геометрической тени за освещенным непрозрачным диском…

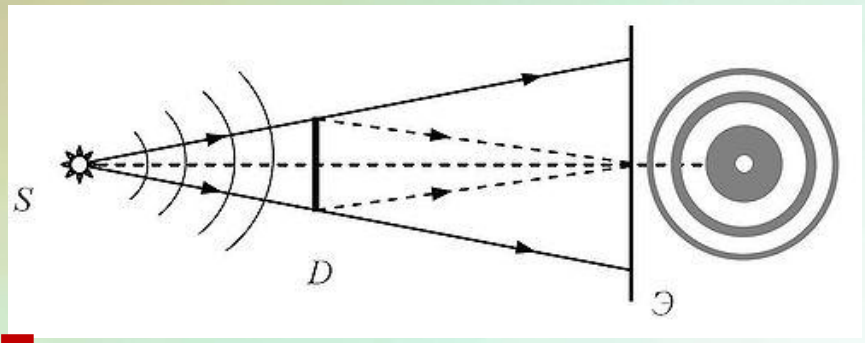
Пуассон



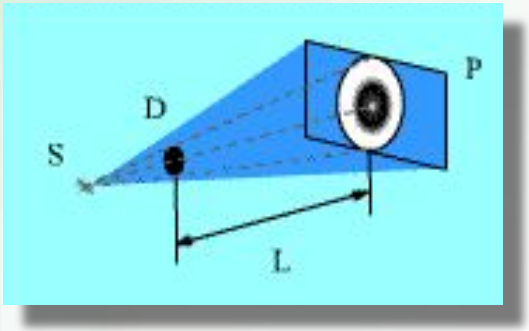
Дифракционное пятно появляется только тогда, когда диск закрывает малое число центральных зон Френеля (одну-две)

Урок № 74-75 Дифракция света

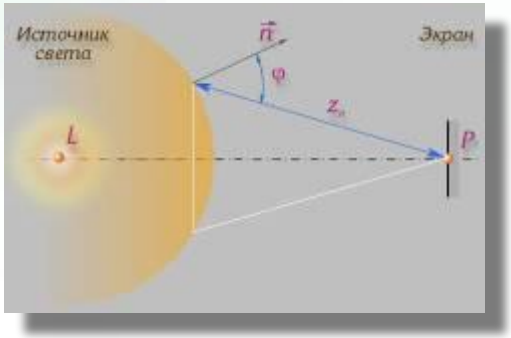
Дифракция от круглого диска

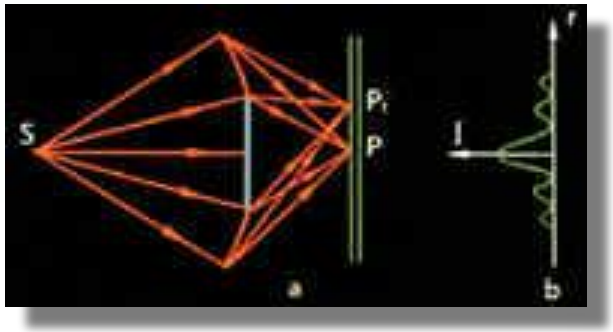






Если диск закрывает много зон Френеля, то центрального светлого пятна не будет!

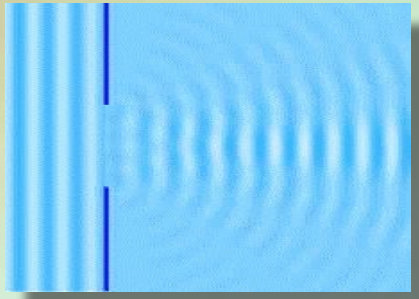


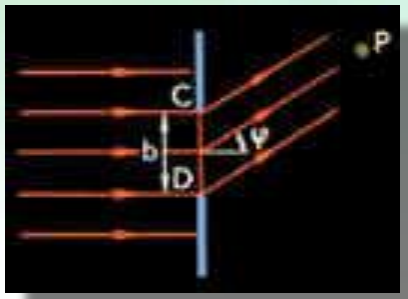


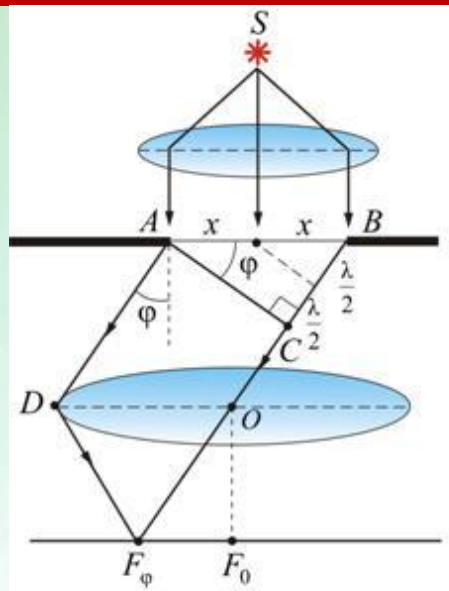
Зоны Френеля больших номеров вносят малый вклад в интенсивность из-за большого угла наклона зон!

Урок № 74-75 Дифракция света

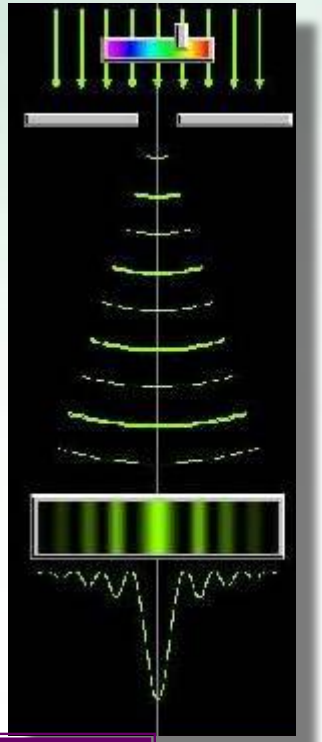
Дифракция в параллельных лучах











Дифракция Фраунгофера

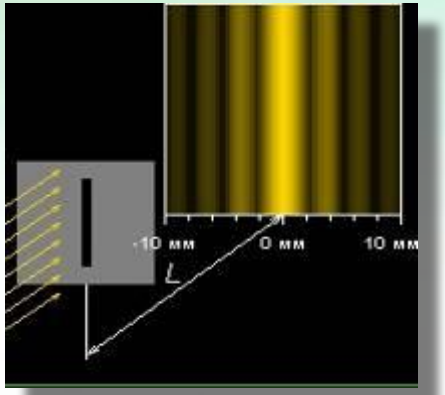
$$L \geq \frac{b^2}{\lambda}$$

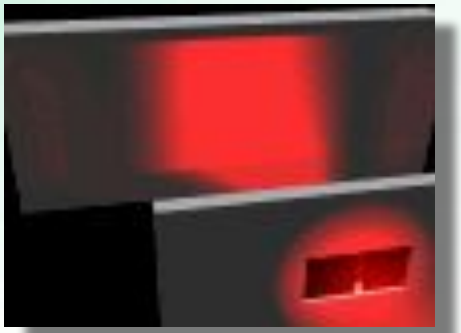
- Дифракция на узкой щели
- Дифракция на двух щелях
- Дифракционная решетка

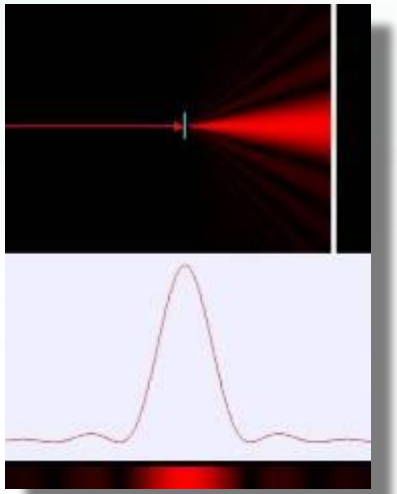
Урок № 74-75 Дифракция света

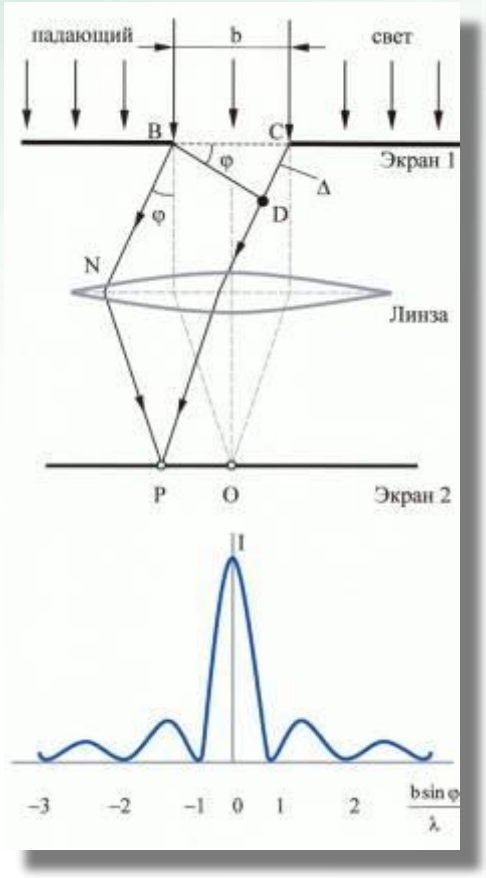
Дифракция на длинной узкой щели

Для наблюдения дифракции за щелью нужно расположить **собирающую линзу**, в фокальной плоскости которой находится экран!









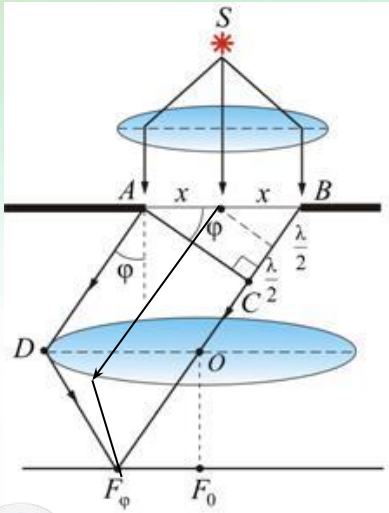
Для получения **пучка параллельных лучей** света, падающих на щель или отверстие, обычно пользуются небольшим источником света, который помещается в фокусе собирающей линзы

http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

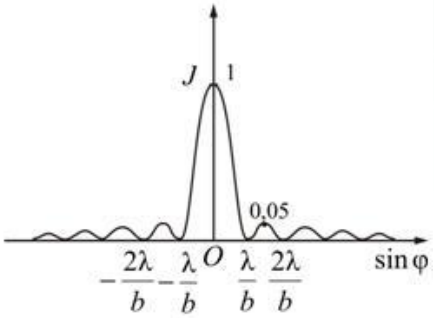
Дифракция на длинной узкой щели

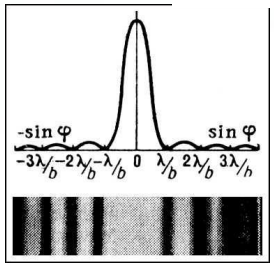
Если в щели шириной b укладывается **четное число** зон Шустера, то на отрезке BC укладывается целое число длин волн. При этом световые волны, собираемые линзой вместе в побочном фокусе, полностью гасят друг друга

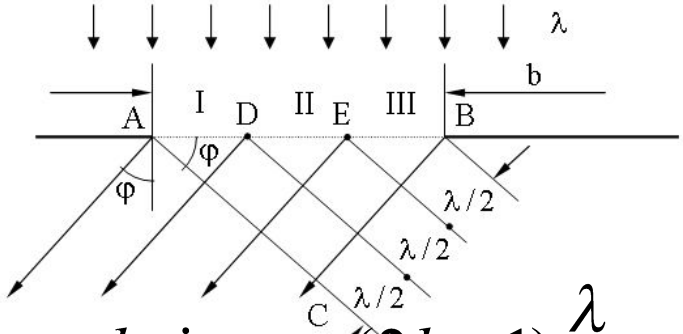


условие минимумов

$$b\sin\varphi = k\lambda, k = 1,2,3\ldots$$







$$b\sin\varphi = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

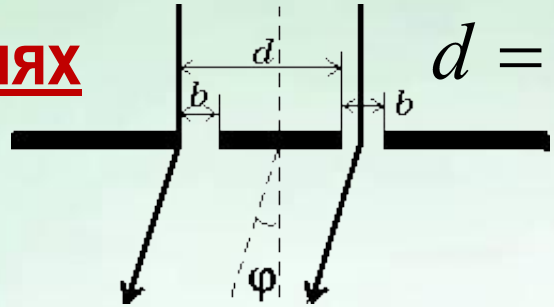
условие максимумов

При b ≥ λ минимумов освещенности не будет!



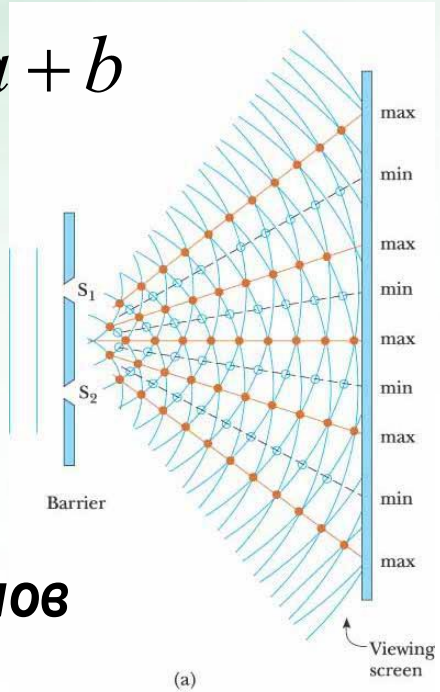
Урок № 74-75 Дифракция света

Дифракция на двух щелях



$$d = a + b$$





$$d \sin\varphi = k\lambda, k = 0,1,2...$$

условие главных максимумов

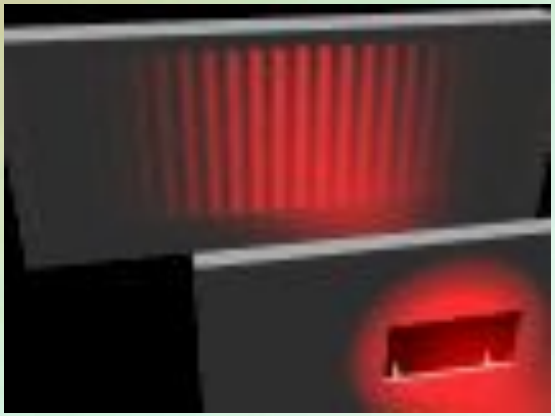
Если ширина каждой щели *b* изменяется, а расстояние между щелями *d* остается постоянным то:

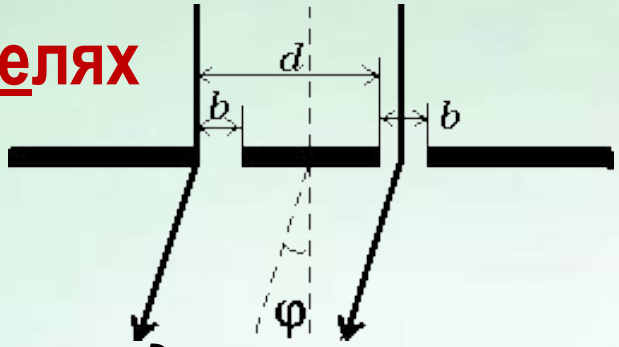
- при уменьшении b ширина дифракционной картины увеличивается, а ее яркость уменьшается
- при этом период интерференционных полос остаётся неизменным

http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

Дифракция на двух щелях







условие дополнительных минимумов

$$d \sin\varphi = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, k = 0,1,2...$$

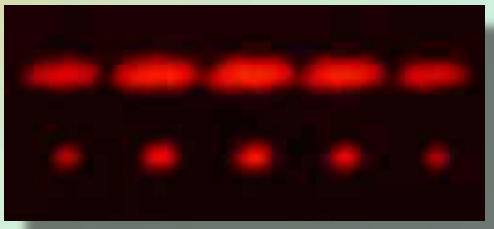
Если ширина щелей *b* остается постоянной, а расстояние *d* между щелями изменяется то:

- частота следования интерференционных полос увеличивается пропорционально расстоянию d между щелями, в то время как ширина дифракционной картины остаётся неизменной и зависит только от b

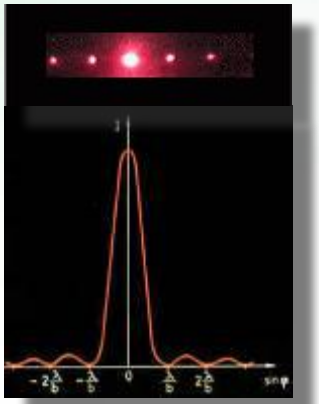
http://aida.ucoz.ru

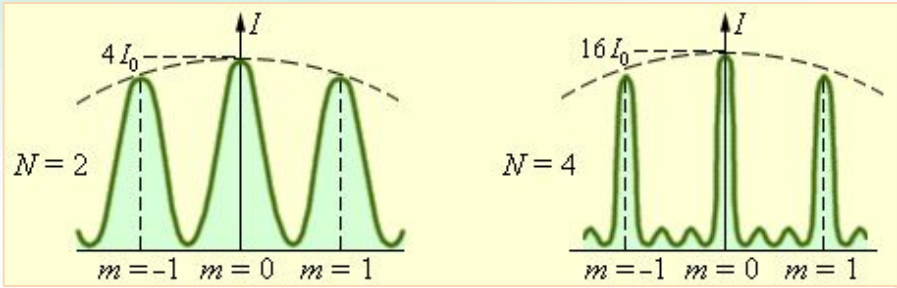
Урок № 74-75 Дифракция света

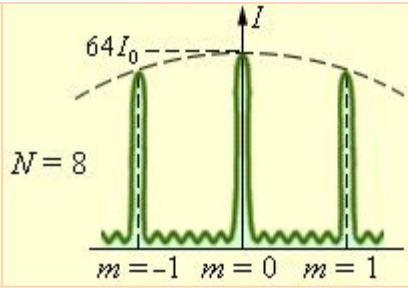
Чем больше число щелей, тем более резко очерчены максимумы и тем более широкими минимумами они разделены

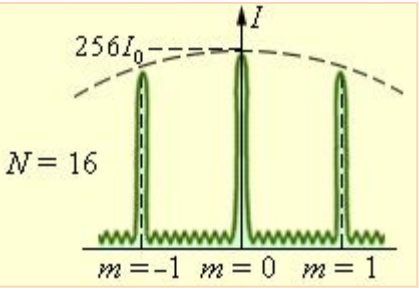








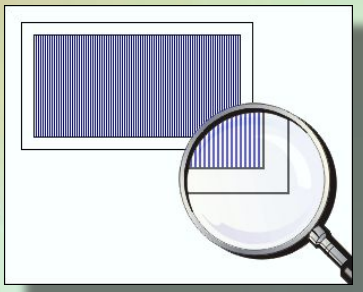




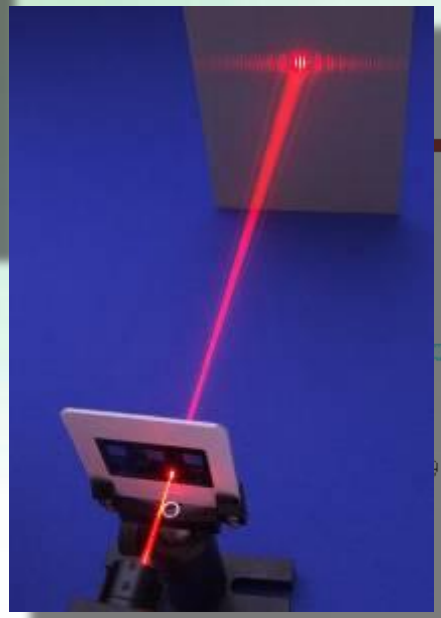
Световая энергия перераспределяется так, что большая ее часть приходится на максимумы, а в минимумы попадает незначительная часть энергии

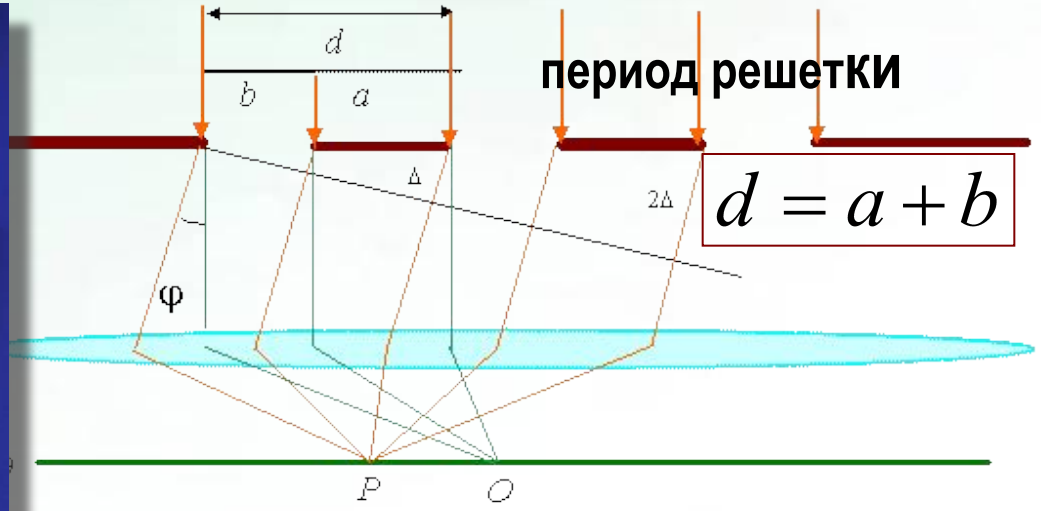
Урок № 74-75 Дифракция света

Дифракционная решетка - спектральный прибор, служащий для разложения света в спектр и измерения длины волны



$$d = \frac{1}{N}$$



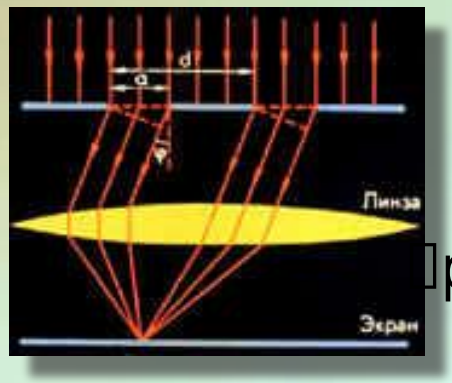


$$d = a + b$$

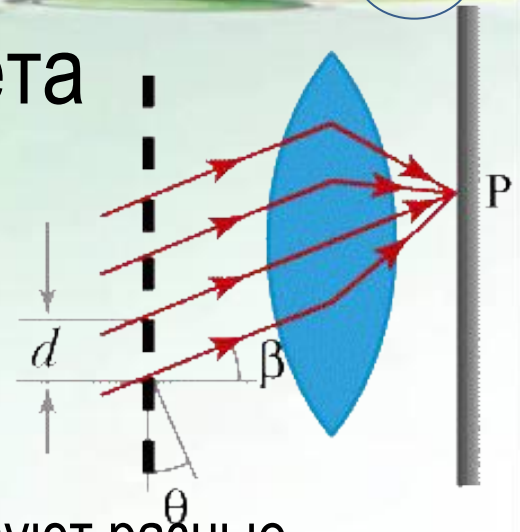
Дифракционная решетка представляет собой совокупность большого числа очень узких щелей, разделенных непрозрачными промежутками

Урок № 74-75 Дифракция света

Формула дифракционной решетки



$$d \sin \varphi = k\lambda$$



- различным длинам волн соответствуют разные углы, на которых наблюдаются интерференционные максимумы (разложение белого света в спектр)
- большие дифракционные углы (т.е. более широкий спектр) дают решетки с малым периодом
- амплитуда в главных максимумах пропорциональна числу штрихов N
- интенсивность света в главных максимумах пропорциональна квадрату числа штрихов



$$\sin \varphi = \frac{k\lambda}{d}$$

Урок № 74-75 Дифракция света

$$\sin\varphi = \frac{k\lambda}{d}$$

Дифракционный спектр



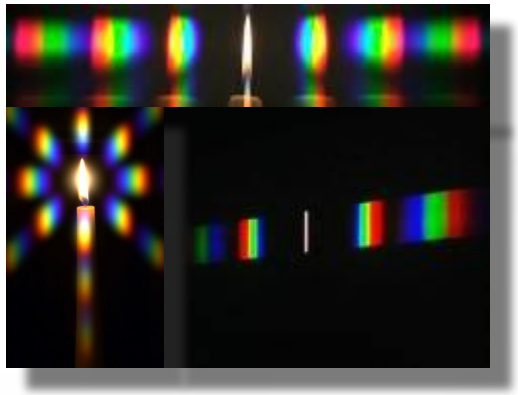
При освещении решетки белым светом:

- только максимум нулевого порядка имеет белый свет
- дифракционный угол для синего цвета меньше, чем для красного
- каждому значению k соответствует свой спектр







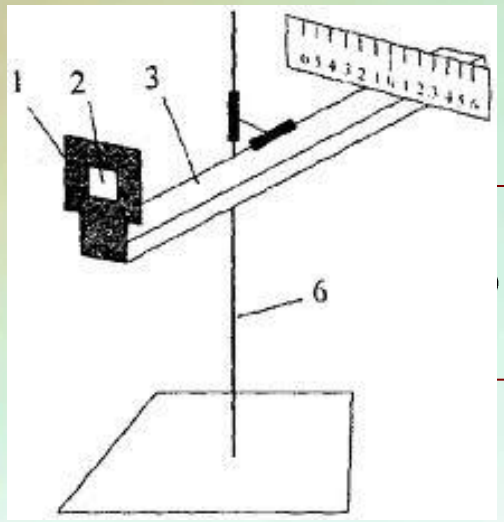


http://aida.ucoz.ru

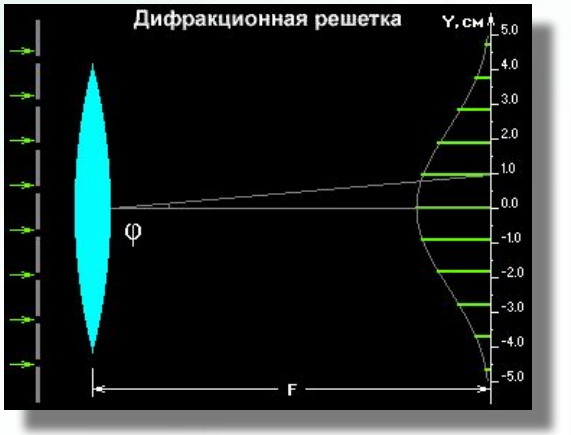
Урок № 74-75 Дифракция света

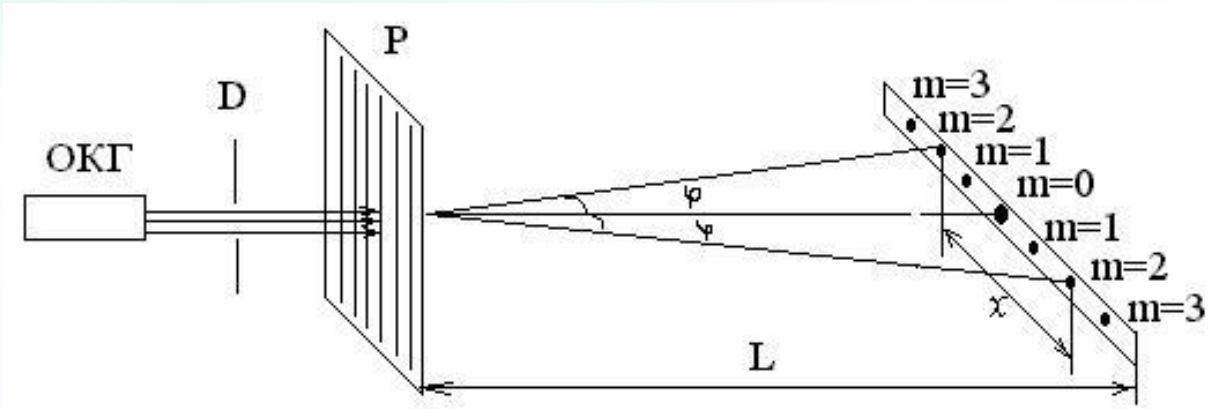
Определение длины волны света

$$\sin\varphi = \frac{k\lambda}{d}$$



$$= \frac{k\lambda}{d} \Rightarrow \lambda = \frac{dtg\varphi}{k} = \frac{dx}{kL}$$

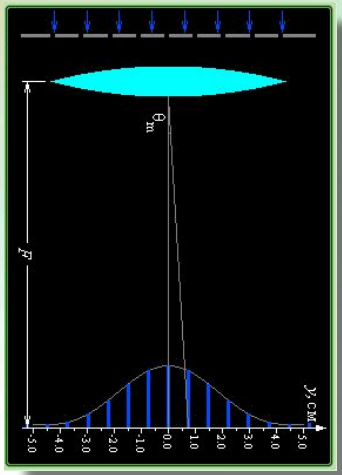


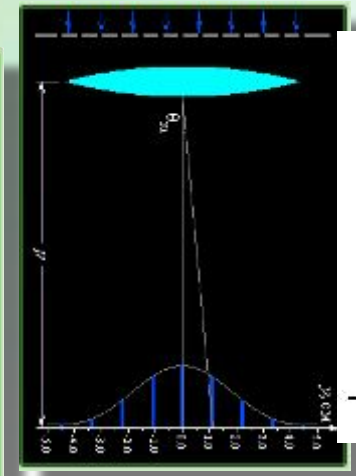


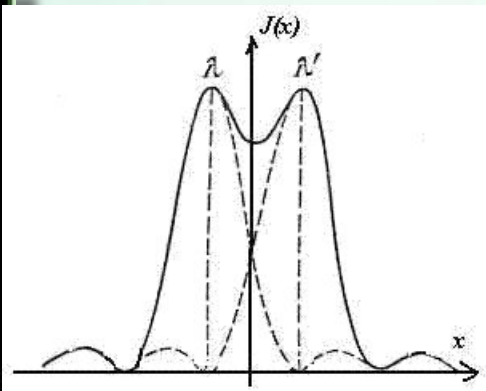


Урок № 74-75 Дифракция света

Способность раздельного наблюдения двух спектральных линий, имеющих близкие длины волн называют **разрешающей способностью решетки**



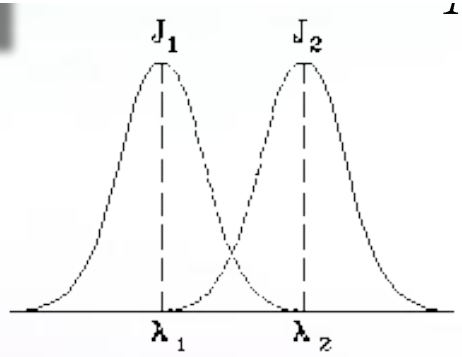




$$A = \frac{\lambda_1}{\Delta\lambda} = \kappa N$$

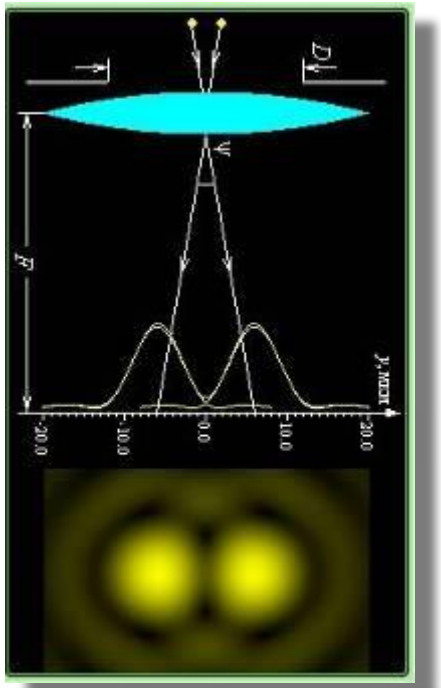
$$= \frac{d}{\lambda_1}$$

$$J = \frac{l}{d}$$



$$\lambda_1 = \lambda$$

$$\lambda_2 = \lambda + \Delta\lambda$$



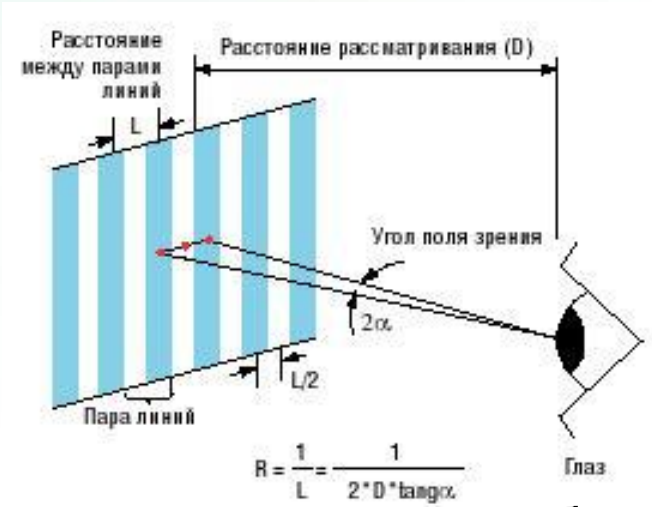
Урок № 74-75 Дифракция света

Возможность различать две близко друг к другу расположенные точки, называется **разрешающей способностью, или остротой зрения.** В качестве стандарта остроты зрения принята способность различить две точки, разделенные углом в 1'.





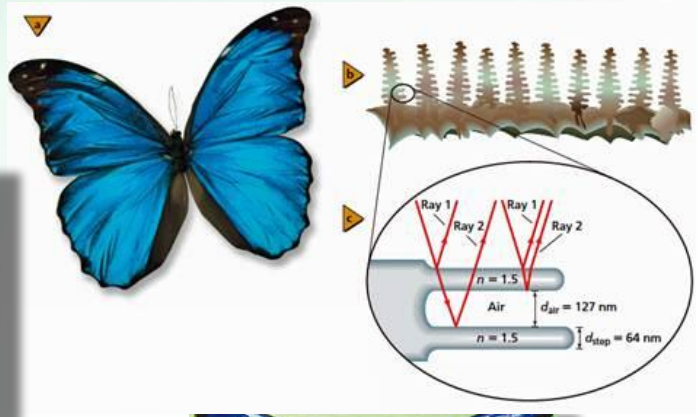




Наши ресницы с промежутками между ними представляют собой грубую дифракционную решетку. Если посмотреть прищурившись, на яркий источник света, то можно обнаружить радужные цвета

Урок № 74-75 Дифракция света

Явления дифракции и интерференции света помогают Природе раскрашивать всё живое, не прибегая к использованию красителей









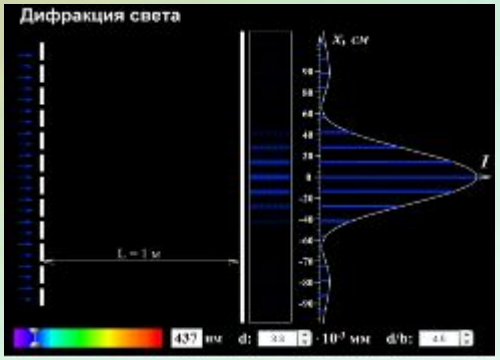




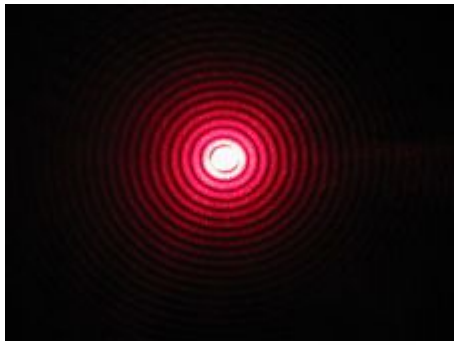




Урок № 74-75 Дифракция света



Дифракция света
(практикум по решению задач)



http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

Дифракционная решетка, постоянная которой равна 0,004 мм, освещается светом с длиной волны 687 нм. Под каким углом к решетке нужно проводить наблюдение, чтобы видеть изображение спектра второго порядка

Дано

$d = 0{,}004 мм$

$\lambda = 687 нм$

$\kappa = 2$

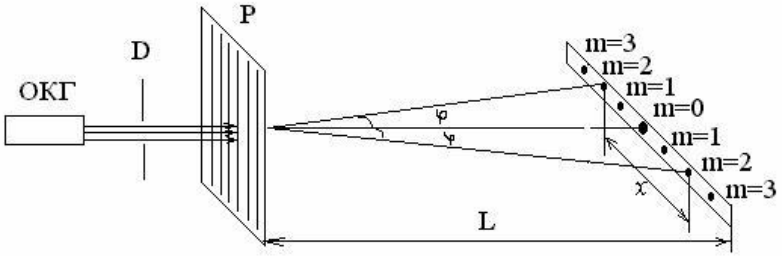
$\varphi = ?$

Анализ

$d \sin\varphi = k\lambda$

$$\sin\varphi = \frac{k\lambda}{d} = \frac{2 \cdot 687 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 10^{-6}} = 0{,}3435$$

$\varphi = 20°$



http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

На дифракционную решетку, имеющую 500 штрихов на 1 мм, падает монохроматический свет длиной волны 500 нм. Свет падает на решетку перпендикулярно. Какой наибольший порядок спектра можно наблюдать?

Дано

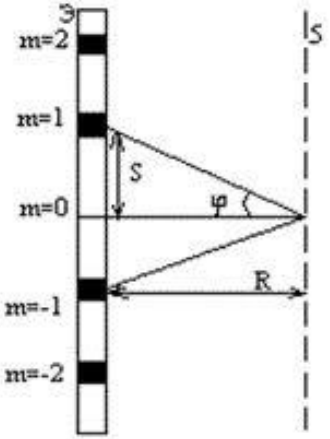
$N = 500$

$\lambda = 500 нм$

$\kappa = ?$

Анализ

$$\begin{cases} d \sin\varphi = k\lambda \\ \sin\varphi = 1 \end{cases} \Rightarrow k = \frac{d}{\lambda} = \frac{1}{N\lambda} = \frac{10^{-3}}{500 \cdot 500 \cdot 10^{-9}} = 4$$



Урок № 74-75 Дифракция света

Дифракционная решетка расположена параллельно экрану на расстоянии 0,7 м от него. Определите количество штрихов на 1 мм для этой дифракционной решетки, если при нормальном падении на нее светового пучка с длиной волны 430 нм первый дифракционный максимум на экране находится на расстоянии 3 см от центральной светлой полосы. Считать, что sinφ ≈ tgφ

Дано

$l = 0{,}7\,м$

$\lambda = 430\,нм$

$\kappa = 1$

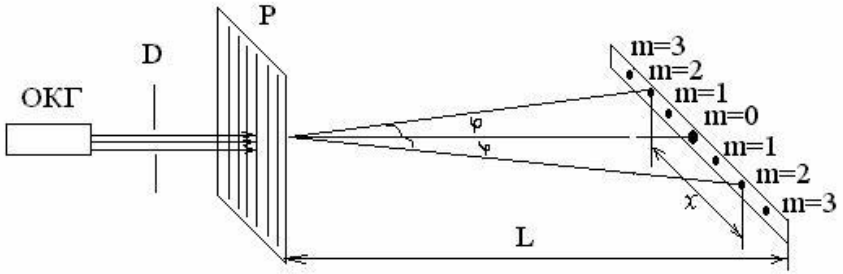
$a = 3\,см$

$N = ?$

Анализ

$$\begin{cases} d\sin\varphi = k\lambda \\ d = \dfrac{1}{N} \end{cases}$$

$$\Rightarrow N = \frac{1}{d} = \frac{1tg\varphi}{k\lambda} = \frac{1\cdot a}{lk\lambda} = \frac{10^{-3}\cdot 3\cdot 10^{-2}}{0{,}7\cdot 1\cdot 430\cdot 10^{-9}} \approx 100$$



Урок № 74-75 Дифракция света

Дифракционная решетка, период которой равен 0,005 мм, расположена параллельно экрану на расстоянии 1,6 м от него и освещается пучком света длиной волны 0,6 мкм, падающим по нормали к решетке. Определите расстояние между центром дифракционной картины и вторым максимумом. Считать, что sinφ ≈ tgφ

Дано

$d = 0{,}005 мм$

$l = 1{,}6 м$

$\lambda = 0{,}6 мкм$

$к = 2$

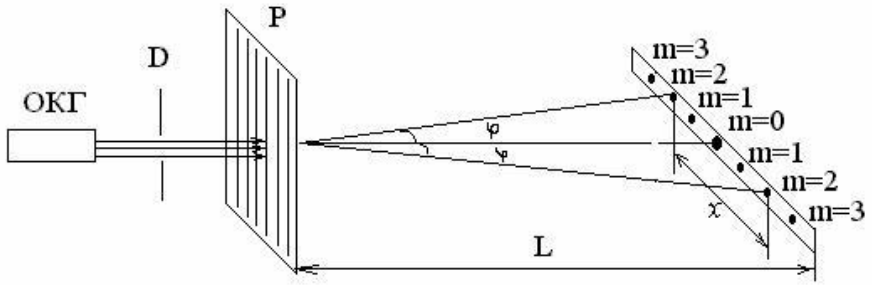
$a = ?$

Анализ

$d \sin\varphi = k\lambda$

$dtg\varphi = k\lambda$

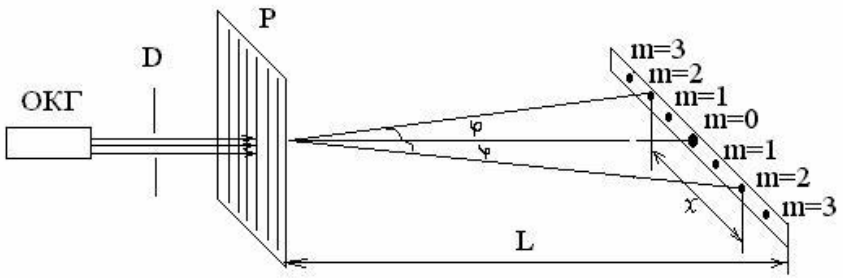
$$d\frac{a}{l} = k\lambda \Rightarrow a = \frac{k\lambda l}{d} = 384 мм$$



Урок № 74-75 Дифракция света

Дифракционная решетка с периодом 10^{-5} м расположена параллельно экрану на расстоянии 1,8 м от него. Решетка освещается нормально падающим пучком света длиной волны 580 нм. На экране на расстоянии 20.88 см от центра дифракционной картины наблюдается максимум освещенности. Определите порядок этого максимума. Считать, что $\sin\varphi \approx tg\varphi$

Дано	*Анализ*
$d = 10^{-5}\,м$	$d\sin\varphi = k\lambda$
$l = 1{,}8м$	$dtg\varphi = k\lambda$
$\lambda = 580нм$	$d\frac{a}{l} = k\lambda \Rightarrow k = \frac{da}{\lambda l} = 2$
$a = 20{,}88см$	
$\kappa = ?$	



Урок № 74-75 Дифракция света

При помощи дифракционной решетки с периодом 0,02 мм получено первое дифракционное изображение на расстоянии 3,6 см от центрального и на расстоянии 1,8 м от решетки. Найдите длину световой волны

Дано

$d = 0{,}02\,мм$

$a = 3{,}6\,см$

$l = 1{,}8\,м$

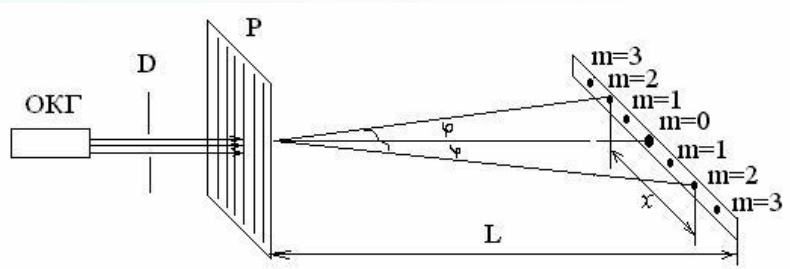
$\lambda = ?$

Анализ

$d \sin\varphi = k\lambda$

$dtg\varphi = k\lambda$

$$d\frac{a}{l} = k\lambda \Rightarrow \lambda = \frac{da}{kl} = 0{,}4\,мкм$$



Урок № 74-75 Дифракция света

Спектры второго и третьего порядков в видимой области дифракционной решетки частично перекрываются друг с другом. Какой длине волны в спектре третьего порядка соответствует длина волны 700 нм в спектре второго порядка?

Дано

$\lambda_1 = 700 нм$

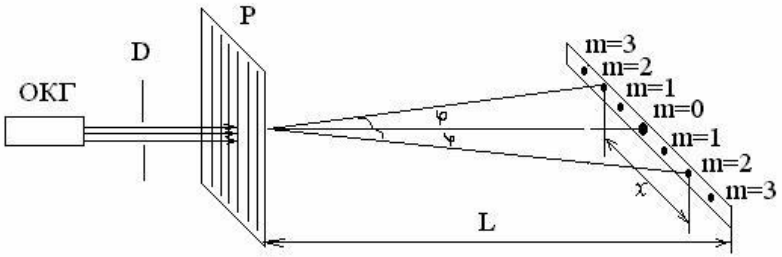
$\kappa_1 = 2$

$\kappa_2 = 3$

$\lambda_2 = ?$

Анализ

$$\begin{cases} d \sin\varphi = k_1\lambda_1 \\ d \sin\varphi = k_2\lambda_2 \end{cases} \Rightarrow \kappa_1\lambda_1 = \kappa_2\lambda_2 \Rightarrow \lambda_2 = \frac{\kappa_1\lambda_1}{\kappa_2} = 466{,}7 нм$$



Урок № 74-75 Дифракция света

Плоская монохроматическая волна с частотой $8 \cdot 10^{14}$ Гц падает по нормали на дифракционную решетку с периодом 5 мкм. Параллельно решетке позади нее размещена собирающая линза с фокусным расстоянием 20 см. Дифракционная картина наблюдается на экране в фокальной плоскости линзы. Найдите расстояние между ее главными максимумами 1 и 2 порядков. Считать, что $\sin\varphi \approx tg\varphi$

Дано

$\nu = 8 \cdot 10^{14}$ Гц

$d = 5$ мкм

$F = l = 20$ см

$k_1 = 1$

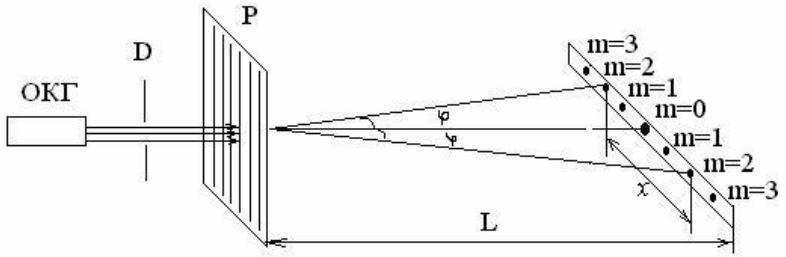
$k_2 = 2$

$\Delta a = ?$

Анализ

$d \sin\varphi = k\lambda$

$dtg\varphi = k\lambda$



$$d\frac{a}{l} = k\lambda \Rightarrow \begin{cases} a_1 = \dfrac{k_1\lambda l}{d} \\ a_1 = \dfrac{k_1\lambda l}{d} \end{cases} \Rightarrow \Delta a = \frac{\lambda l}{d} = \frac{cl}{\nu d} = 15 \text{ мм}$$

Урок № 74-75 Дифракция света

Какова ширина всего спектра первого порядка (длины волн заключены в пределах от 380 нм до 760 нм), полученного на экране, отстоящем на 3 м от дифракционной решетки с периодом 0,01 мм?

Дано

$\lambda_к = 760нм$

$\lambda_ф = 380нм$

$к = 1$

$l = 3м$

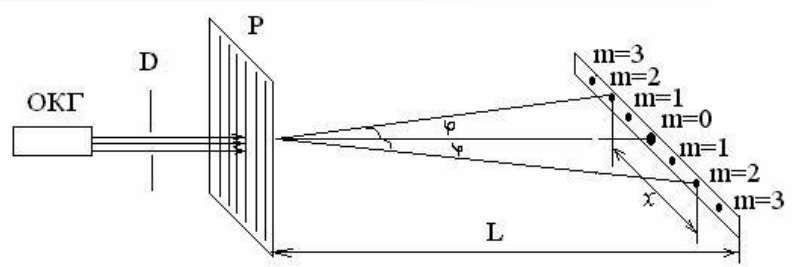
$d = 0{,}01мм$

$\Delta a = ?$

Анализ

$d \sin\varphi = k\lambda$

$dtg\varphi = k\lambda$



$$d\frac{a}{l} = k\lambda \Rightarrow \begin{cases} a_к = \dfrac{k\lambda_к l}{d} \\ a_ф = \dfrac{k\lambda_ф l}{d} \end{cases} \Rightarrow \Delta a = \frac{к(\lambda_к - \lambda_ф)l}{d} = 114мм$$

http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

На дифракционную решетку падает нормально параллельный пучок белого света. Между решеткой и экраном вплотную к решетке расположена линза, которая фокусирует свет, проходящий через решетку, на экране. Чему равно число штрихов на 1 см, если расстояние до экрана 2 м, а ширина спектра первого порядка 4 см. Длины красной и фиолетовой волн соответственно равны 800 нм и 400 нм. Считать, что sinφ ≈ tgφ

Дано

$\lambda_к = 800нм$

$\lambda_ф = 400нм$

$к = 1$

$l = 2м$

$\Delta a = 4см$

$N = ?$

Анализ

$$\Delta a = \frac{кl\left(\lambda_к - \lambda_ф\right)}{d} \Rightarrow N = \frac{\Delta ad}{kl\left(\lambda_k - \lambda_ф\right)} = 500$$

Урок № 74-75 Дифракция света

Плоская монохроматическая световая волна с частотой $\nu = 8 \cdot 10^{14}$ Гц падает по нормали на дифракционную решетку с периодом 6 мкм. Параллельно решетке позади нее размещена собирающая линза. Дифракционная картина наблюдается в задней фокальной плоскости линзы. Расстояние между ее главными максимумами 1 и 2 порядков равно 16 мм. Найдите фокусное расстояние линзы. Считать, что $\sin\varphi \approx \operatorname{tg}\varphi$

Дано

$\nu = 8 \cdot 10^{14}\ Гц$

$d = 6 мкм$

$\Delta a = 16 мм$

$k_1 = 1$

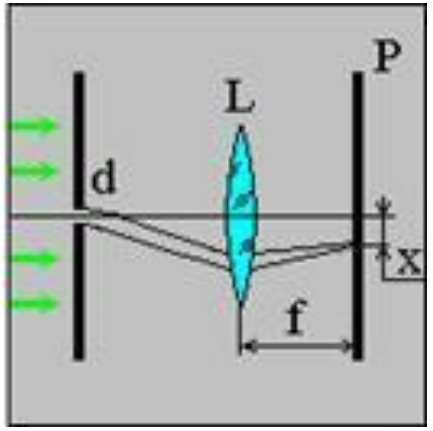
$k_2 = 2$

$c = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$

$F = ?$

Анализ

$$F = l = \frac{\Delta a \nu d}{c} = 256 мм$$



Урок № 74-75 Дифракция света

Какова должна быть общая длина дифракционной решетки, имеющей 500 штрихов на 1 мм, чтобы с ее помощью разрешить две линии спектра с длинами волн 600,0 нм и 600,05 нм?

Дано

$N = 500$

$\lambda_1 = 600 нм$

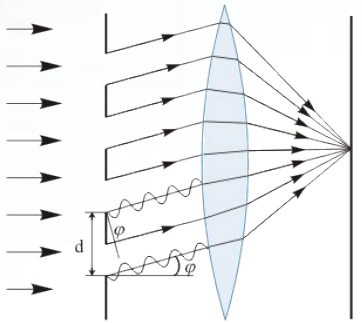
$\lambda_2 = 600{,}05 нм$

$l = ?$

Анализ

$$4) l = dN = 8 мм \Rightarrow 2) k = \frac{d}{\lambda_1} = 3 \Rightarrow$$

$$1) d = \frac{1}{N_1} = 2 мкм \Rightarrow 3) N = \frac{\lambda}{\Delta\lambda k} = 4000$$



http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

Дифракционная решетка с периодом 10^{-5} м имеет 1000 штрихов. Можно ли с помощью этой решетки в спектре первого порядка разрешить две линии спектра натрия с длинами волн 589.0 нм и 589,6 нм?

Дано

$d = 10 мкм$

$k = 1$

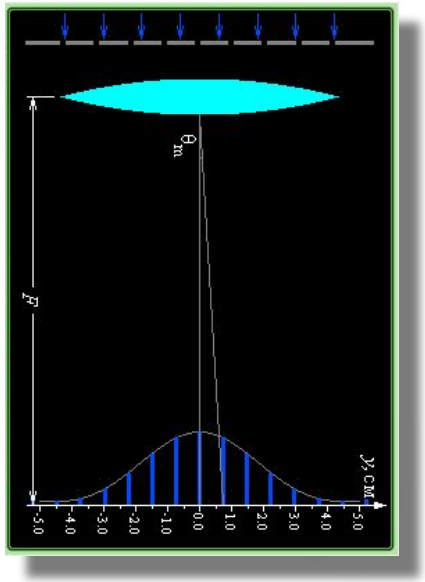
$\lambda_1 = 500 нм$

$\lambda_2 = 589{,}6 нм$

$A = ?$

Анализ

$$A = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{589{,}6}{0{,}6} = 982 < 1000 \Rightarrow да$$



http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

Определите разрешающую способность дифракционной решетки, период которой равен 1,5 мкм, а общая длина 12 мм, если на нее падает свет с длиной волны 530 нм

Дано

$l = 12мм$

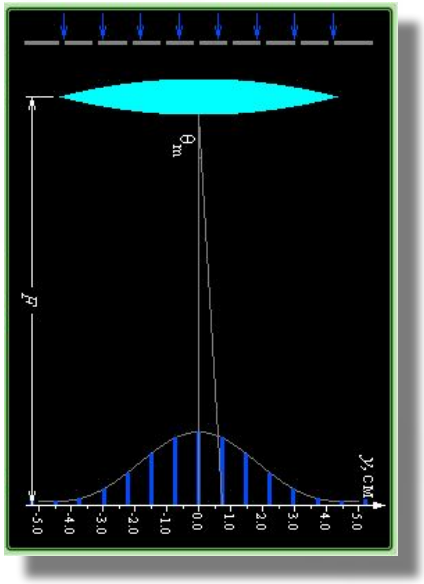
$\lambda = 530нм$

$d = 1{,}5мкм$

$A = ?$

Анализ

$$A = kN = \frac{d}{\lambda} \bullet \frac{l}{d} = \frac{l}{\lambda} \Rightarrow A = 20000$$



http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

Определите разрешающую способность дифракционной решетки, содержащей 200 штрихов на 1 мм, если ее общая длина равна 10 мм. На решетку падает излучение с длиной волны 720 нм

Дано

$l = 10 мм$

$\lambda = 720 нм$

$N = 200$

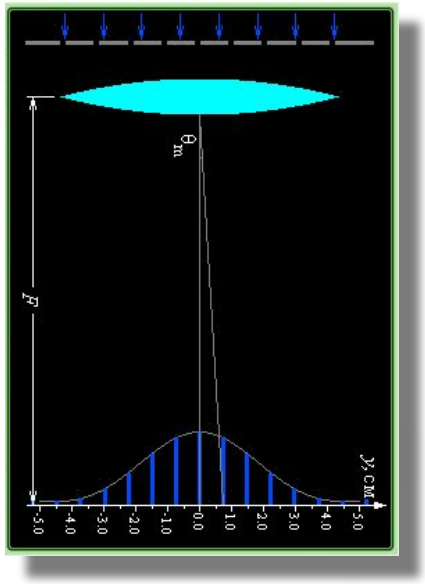
$A = ?$

Анализ

$$d = \frac{10^{-3}}{200} = 5 \bullet 10^{-6} м$$

$$N = \frac{l}{d} = 2000 \Rightarrow k = \frac{d}{\lambda} = 6$$

$$A = kN = 12000$$



Урок № 74-75 Дифракция света

Какое наименьшее число штрихов должна содержать решетка, чтобы в спектре первого порядка можно было разрешить две желтые линии натрия с длинами волн 589 нм и 589,6 нм. Какова длина такой решетки, если постоянная решетки 10 мкм

Дано

$d = 10 мкм$

$k = 1$

$\lambda_1 = 500 нм$

$\lambda_2 = 589{,}6 нм$

$A = ?$

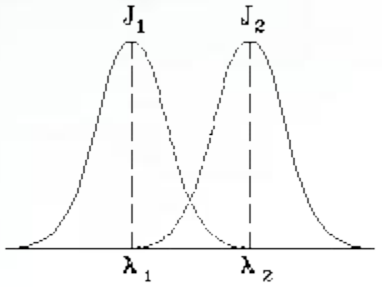
$l = ?$

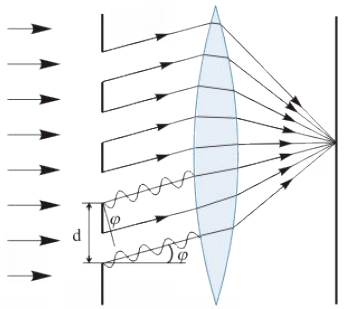
Анализ

$A = kN$

$A = \frac{\lambda_1}{\Delta\lambda} \Rightarrow N = \frac{\lambda_1}{\Delta\lambda k} = 982$

$l = dN = 9{,}8 мм$





Урок № 74-75 Дифракция света

Определите число открытых зон при следующих параметрах:
R =2 мм; a=2.5 м; b=1.5 м
а) λ=0.4 мкм.
б) λ=0.76 мкм

Дано

$R = 2мм$

$a = 2{,}5м$

$b = 1{,}5м$

$\lambda_1 = 0{,}4мкм$

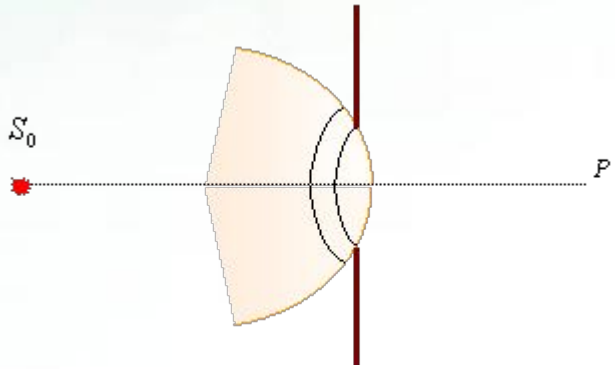
$\lambda_2 = 0{,}76мкм$

$m = ?$

Анализ

$$m_1 = \frac{R^2}{\lambda_1}\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right) = 10$$

$$m_2 = \frac{R^2}{\lambda_2}\left(\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right) = 5$$



Урок № 74-75 Дифракция света

Диафрагма диаметром 1 см освещается зеленым светом с длиной волны 0,5 мкм. На каком расстоянии от диафрагмы будет справедливо приближение геометрической оптики

Дано

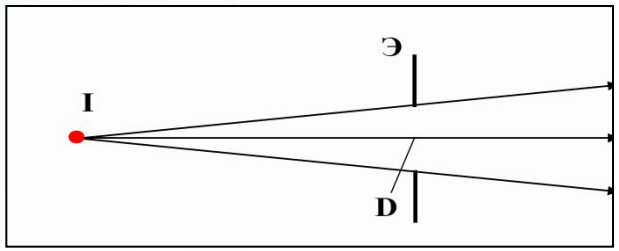
$b = 1см$

$\lambda = 500нм$

$L = ?$

Анализ

$$L << \frac{b^2}{\lambda} << 200м$$



Ответ :много меньше 200 м

Урок № 74-75 Дифракция света

Щель размером 1,2 мм освещается зеленым светом с длиной волны 0,5 мкм. Наблюдатель расположен на расстоянии 3 м от щели. Увидит ли он дифракционную картину.

Дано

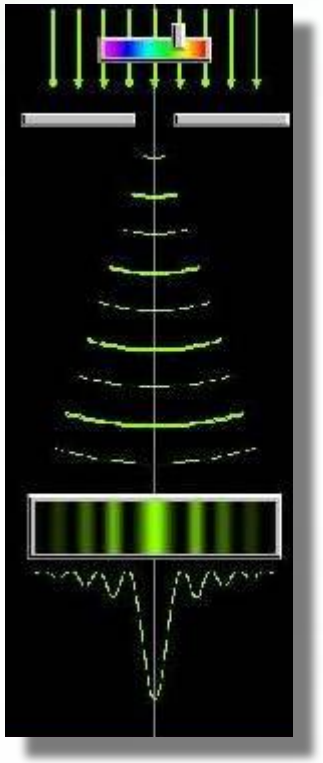
$b = 1{,}2 мм$

$\lambda = 500 нм$

$L = ?$

Анализ

$$L \geq \frac{b^2}{\lambda} = 2{,}88 м (да)$$

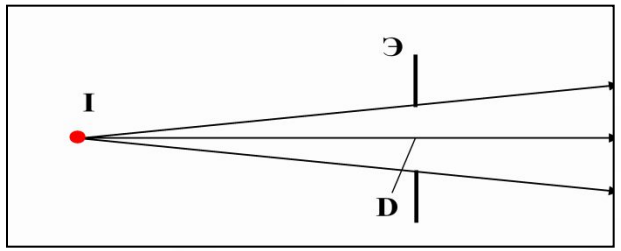


http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

Экран расположен на расстоянии 50 см от диафрагмы, которая освещается желтым светом с длиной волны 589 нм от натриевой лампы. При каком диаметре диафрагмы будет справедливо приближение геометрической оптики

Дано	*Анализ*
$L = 50см$	$L << \frac{b^2}{\lambda} \Rightarrow b >> \sqrt{L\lambda} >> 0{,}54мм$
$\lambda = 589нм$	
$b = ?$	



http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

Щель размером 0,5 мм освещается зеленым светом от лазера с длиной волны 500 нм. На каком расстоянии от щели можно отчетливо наблюдать дифракционную картину

Дано

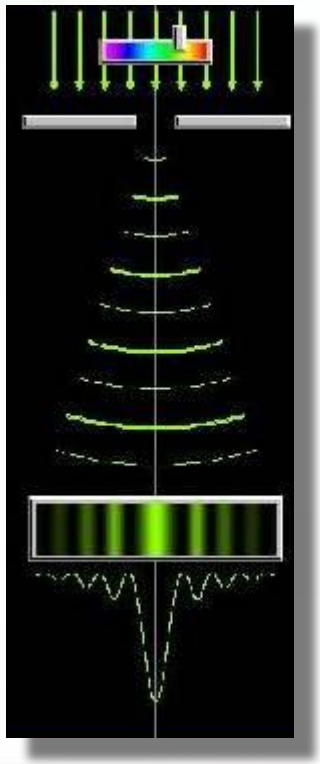
$b = 0{,}5мм$

$\lambda = 500нм$

$L = ?$

Анализ

$$L \geq \frac{b^2}{\lambda} = 50см$$



http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света



Домашнее задание

Учебник § 71-72 (Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев. Физика.11)

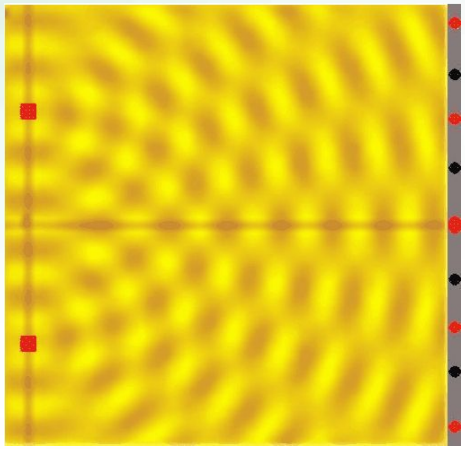
Сборник № 1606,1609,1612, 1613,1617(Г.Н.Степанова)

http://aida.ucoz.ru

Урок № 74-75 Дифракция света

Интернетресурсы:

- www.liveintemet.ru
- prodetey.ru
- demiart.ru
- www.en.edu.ru
- physics.ru
- elementy.ru
- physoptirf.ru
- phyzika.ru
- school.kievskiy.ru
- ido.tsu.ru
- distedu.ru
- himiki.com
- femto.com.ua
- kaf-fiz 1586.narod.ru
- fiz.envy.ru
- edu-teacherzv.ru



http://aida.ucoz.ru